

08.05.2004

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 30 414.2

**Anmeldetag:** 04. Juli 2003

**Anmelder/Inhaber:** Continental Aktiengesellschaft, 30165 Hannover/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Messung eines Drucks

**IPC:** G 01 L, B 60 G

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. April 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Quermann & Richardt • Unter den Eichen 7 • D-65195 Wiesbaden

Deutsches Patent- und  
Markenamt  
Zweibrückenstraße 12

80331 München

Patentanwälte

European Patent Attorneys  
European Trademark Attorneys

Diplom-Ingenieur  
Helmut Quermann

Diplom-Ingenieur  
Markus Richardt

4. Juli 2003  
MR/af

Internes Aktenzeichen: cont.203.03 DE

Continental Aktiengesellschaft,  
D-30165 Hannover

Verfahren zur Messung eines Drucks

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung eines Drucks, ein  
digitales Speichermedium zur Berechnung eines Drucks sowie eine Vorrichtung  
5 zur Messung eines Drucks, insbesondere zur Anwendung für Kraftfahrzeuge.

Üblicherweise erfolgt die Druckmessung mittels Drucksensoren. Für Drucksensoren sind verschiedene Sensorprinzipien bekannt, beispielsweise kapazitive

oder piezoelektrische Sensoren. Solche Drucksensoren werden auch für die Druckmessung bei Fahrzeugen mit Luftfedern und Niveauregelanlage eingesetzt. Die Befüllung der Luftfedern mit Druckmittel erfolgt dabei entweder in einem offenen oder in einem geschlossenen System.

5

In einem offenen System wird Umgebungsluft angesaugt, von einem Kompressor verdichtet und in die Luftfedern des Fahrzeugs gepumpt, bis ein gewünschtes Höhenniveau erreicht ist. Zur Verringerung des Niveaus wird Luft aus den Federn in die Umgebung abgelassen. Zur wiederholten Belüftung der Luftfedern wird wiederum Luft von außen angesaugt.

10

Bei einer geschlossenen Niveauregelanlage erfolgt dagegen kein Austausch von Druckmittel mit der Umgebung. Solche geschlossenen Niveauregelanlagen sind beispielsweise aus der DE 199 59 556 C1 und EP 1 243 447 A2 bekannt geworden.

15

Ein gemeinsamer Nachteil von für solche Niveauregelanlagen verwendeten Drucksensoren ist, dass diese relativ unzuverlässig und teuer sind.

20

Der Erfindung liegt demgegenüber die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Messung eines Drucks, insbesondere zur Messung eines Differenzdrucks zwischen einer Gasfeder und deren Zuleitung, zu schaffen. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, ein entsprechendes Computerprogrammprodukt und eine Vorrichtung zur Druckmessung zu schaffen.

25

Die der Erfindung zugrunde liegenden Aufgaben werden jeweils mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

30

Die Erfindung ermöglicht die Messung eines Drucks ohne einen gesonderten Drucksensor. Die Druckmessung erfolgt basierend auf dem bei Öffnung eines Magnetventils fließenden Stroms. Ausgangspunkt der Erfindung ist dabei die

Erkenntnis, dass der am Scheitelpunkt des Stromanstiegs fließende Strom charakteristisch für den Differenzdruck zwischen den durch das Magnetventil voneinander getrennten Bereichen ist. Erfindungsgemäß erfolgt daher die Differenzdruckbestimmung basierend auf der Ermittlung dieses Scheitelpunkts.

5

Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der durch die Spule des Magnetventils fließende Strom nach dem Anlegen der Spannung gemessen. Aus dieser Schaltstromcharakteristik wird der Scheitelwert bestimmt. Aus dem Scheitelwert des Stroms wird dann beispielsweise über ein Kennlinienfeld oder durch Berechnung der Differenzdruck ermittelt.

10

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die an das Magnetventil angelegte Spulenspannung schrittweise erhöht, indem ein Pulsweitenmodulationsverhältnis schrittweise erhöht wird. Auch bei dieser Ausführungsform wird wiederum der Scheitelpunkt ermittelt. Das Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt bestimmt die an der Spule des Magnetventils anliegende mittlere Spannung und korreliert damit mit dem Strom und dem Differenzdruck. Bei dieser Ausführungsform erfolgt also die Ermittlung des Differenzdrucks basierend auf dem Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt des Stroms.

15

20

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Temperaturabhängigkeit des Spulenwiderstands bei der Berechnung des Spulenstroms aus dem Pulsweitenmodulationsverhältnis berücksichtigt.

25

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt auf eine Normspannung bezogen. Mittels dieser Normspannung wird das Magnetventil kalibriert.

30

Im Weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung mit Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockdiagramm einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Differenzdruckbestimmung,

Figur 2 eine Schaltstromcharakteristik des Spulenstroms in dem Magnetventil der Vorrichtung gemäß Figur 1,

Figur 3 ein Flussdiagramm zur Bestimmung des Differenzdrucks mit Hilfe der Vorrichtung gemäß Figur 1,

Figur 4 ein Blockdiagramm einer weiteren bevorzugten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Differenzdruckbestimmung,

Figur 5 ein Flussdiagramm zur Ermittlung des Differenzdrucks mit Hilfe der Vorrichtung der Figur 4,

Figur 6 die Schaltstromcharakteristik des Spulenstroms in der Ausführungsform gemäß Figur 4 bei schrittweiser Erhöhung des Pulsweitenmodulationsverhältnisses,

Figur 7 ein Flussdiagramm einer weiteren bevorzugten Ausführungsform mit einer Magnetventilkalibrierung und einer Berücksichtigung der Spulentemperatur für die Differenzdruckbestimmung,

Figur 8 ein Flussdiagramm zur Magnetventilkalibrierung,

Figur 9 ein Flussdiagramm zur Ermittlung eines Spulentemperaturfaktors,

Figur 10 ein Flussdiagramm zur Ermittlung eines auf eine Normspannung bezogenen Pulsweitenmodulationsverhältnisses,

Figur 11 ein Flussdiagramm zu Ermittlung des Differenzdrucks aus dem Spulentemperaturfaktor und dem auf die Normspannung bezogenen Pulsweitenmodulationsverhältnis.

- 5 Die Figur 1 zeigt eine Vorrichtung 100 zur Druckbestimmung. Mittels der Vorrichtung 100 wird die Druckdifferenz zwischen dem in einem Arbeitsvolumen einer Gasfeder 102 herrschenden Druck  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$  und dem in einer an die Gasfeder 102 angeschlossenen Arbeitsleitung 104 herrschenden Druck  $p_{\text{Arbeitsleitung}}$  gemessen. Die Arbeitsleitung 104 ist mit der Gasfeder 102 über ein Magnetventil 106 verbindbar.

10 Wenn keine elektrische Spannung an das Magnetventil 106 angelegt wird, wird das Magnetventil 106 durch eine Feder 108, die eine Federkraft  $F_{\text{Feder}}$  auf das Magnetventil 106 in Schließrichtung ausübt, sowie durch den in dem Arbeitsvolumen der Gasfeder 102 herrschenden Druck  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$  mit der resultierenden Kraft  $F_{\text{Druck}}$  in der Schließposition gehalten.

15 Durch ein Steuergerät 110 kann ein Schalter 112 geschlossen werden, um eine Spannung  $U$  an die Spule des Magnetventils 106 anzulegen. Dadurch fließt ein Strom  $I$  durch die Spule. Dieser Strom  $I$  wird durch ein Strommessgerät 114 gemessen und in das Steuergerät 110 eingegeben.

20 Aufgrund des Stroms  $I$  ergibt sich eine Öffnungskraft  $F_{\text{Magnet}}$  des Magnetventils 106, die den Kräften  $F_{\text{Druck}}$  und  $F_{\text{Feder}}$  entgegengerichtet ist.

25 Kurz vor der Öffnung des Magnetventils 106, d. h. zum Zeitpunkt des Hubanfangs, herrscht das folgende Kräftegleichgewicht:

$$F_{\text{Magnet}} = F_{\text{Druck}} + F_{\text{Feder}},$$

wobei  $F_{\text{Feder}}$  im Wesentlichen konstant ist und  $F_{\text{Druck}}$  eine Funktion des Drucks  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$  sowie der Ventilkennweite 116 des Magnetventils ist. Zum Zeitpunkt des Hubanfangs hat der Strom  $I$  seinen Scheitelwert  $I_{\text{Schalt}}$ .

- 5 Das Steuergerät 110 hat einen Speicher 118, in dem ein Kennlinienfeld gespeichert ist. Je nach dem Druck  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$  gehört zu jedem Hubanfang des Magnetventils 106 und zu jeder Ventilkennweite 116 ein unterschiedlicher Schaltstrom  $I_{\text{Schalt}}$ . Das Kennlinienfeld in dem Speicher 118 korreliert also verschiedene Schaltströme  $I_{\text{Schalt}}$  mit dem entsprechenden Drücken, d. h.  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$ .

- 10 Das Steuergerät 110 hat ferner ein Programm 120, welches auf einem digitalen Speichermedium, beispielsweise im Arbeitsspeicher des Steuergerätes 110, gespeichert ist. Das Programm 120 ermittelt aus den von dem Strommessgerät  
15 114 gelieferten Strommesswerten den Scheitelpunkt des Stromverlaufs. Der Scheitelwert des Stroms, d. h.  $I_{\text{Schalt}}$  dient dem Programm 120 dazu, um aus dem in dem Speicher 118 gespeicherten Kennlinienfeld den Druck zu ermitteln. Wenn es sich bei dem Druck in der Arbeitsleitung  $p_{\text{Arbeitsleitung}}$  um den Atmosphärendruck handelt, erhält man  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$  als relativen Druck zur  
20 Atmosphäre. Durch Umrechnung kann daraus der absolute Druck ermittelt werden. Wenn hingegen der Druck  $p_{\text{Arbeitsleitung}}$  oberhalb des Atmosphärendrucks liegt, erhält man den Differenzdruck zwischen  $p_{\text{Arbeitsvolumen}}$  und  $p_{\text{Arbeitsleitung}}$ .

- 25 Die Figur 2 zeigt die entsprechende Schaltstromcharakteristik. Zum Zeitpunkt  $t_0$  wird der Schalter 112 (vgl. Figur 1) geschlossen, so dass der Strom  $I$  durch die Spule des Magnetventils 106 zu fließen beginnt. Zum Zeitpunkt  $t_1$  erreicht der Strom  $I$  ein lokales Maximum  $I_{\text{Schalt}}$  an seinem Scheitelpunkt S.

- 30 An dem Scheitelpunkt S herrscht kurz vor dem Hubanfang ein Gleichgewicht zwischen den auf den Magnetanker des Magnetventils 106 wirkenden Kräften. Nach dem Zeitpunkt  $t_1$  setzt sich der Magnetanker des Magnetventils 106 aus

der Schließposition heraus in Bewegung. Aufgrund der dadurch erzeugten Gegeninduktion sinkt der Strom  $I$  bis zum Zeitpunkt  $t_2$  ab, zu dem das Magnetventil 106 vollständig geöffnet ist. Nach diesem Zeitpunkt fällt die Gegeninduktion weg und der Strom  $I$  steigt bis in die Sättigung.

5

Der in der Figur 2 gezeigte Verlauf des Stroms  $I$  wird von dem Strommessgerät 114 gemessen und in das Steuergerät 110 eingegeben (vgl. Figur 1). Dort wird mittels des Programms 120 der Scheitelpunkt  $S$  bestimmt. Aus dem Schaltstrom  $I_{\text{Schalt}}$  an dem Scheitelpunkt  $S$  wird über das in dem Speicher 118 gespeicherte Kennlinienfeld der Druck bestimmt.

10

Die Figur 3 zeigt ein entsprechendes Flussdiagramm. In dem Schritt 300 wird eine Spannung an das Magnetventil angelegt. Der daraufhin durch die Spule des Magnetventils fließende Strom wird in dem Schritt 302 gemessen. In dem Schritt 304 wird der Scheitelwert des Stroms zum Zeitpunkt des Hubanfangs des Magnetankers bestimmt. Hierzu wird beispielsweise das erste lokale Maximum nach der Anlegung der Spannung an das Magnetventil in dem Schritt 300 bestimmt. Mit Hilfe des Scheitelwerts  $I_{\text{Schalt}}$  wird in dem Schritt 306 der Druck beispielsweise mit Hilfe eines Kennlinienfeldes bestimmt.

15

Die Figur 4 zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform einer Vorrichtung zur Druckmessung. Elemente der Figur 4, die Elementen der Figur 1 entsprechen, sind mit um 300 erhöhten Bezugszeichen gekennzeichnet.

20

Im Unterschied zu der Ausführungsform der Figur 1 wird bei der Ausführungsform der Figur 4 die Spannung  $U$  nicht unmittelbar an die Spule des Magnetventils 406 angelegt, sondern über eine Pulsweitenmodulationsschaltung 422. Die Strommessung erfolgt bei der hier betrachteten Ausführungsform durch ein Modul 424 eines integrierten Schaltkreises des Steuergerätes 410.

25

Die Strommessung kann dabei rein qualitativ sein, d. h. es kommt nicht auf die absolute Höhe des gemessenen Stromwerts an, sondern nur darauf, ob der

30



Strom ansteigend oder abfallend ist. Für eine solche qualitative Messung ist die mit einem integrierten Schaltkreis erreichbare Messgenauigkeit ausreichend. Der Betrieb der Vorrichtung 400 wird anhand des Flussdiagramms der Figur 5 näher erläutert.

5

In dem Schritt 500 startet das Programm 420 des Steuergeräts 410 die Messsequenz indem ein initiales Pulsweitenmodulationsverhältnis nahe 0 als Steuersignal an die Pulsweitenmodulationsschaltung 422 ausgegeben wird. Am Ausgang der Pulsweitenmodulationsschaltung 422 wird daher die relativ geringe Spannung  $U'$ , die sich aus der pulsweitenmodulierten Spannung  $U$  ergibt, an die Spule des Magnetventils 406 angelegt. Der sich daraus ergebende Spulenstrom wird durch das Modul 424 qualitativ gemessen und in das Programm 420 eingegeben. Dies erfolgt in dem Schritt 502.

15

In dem Schritt 504 erhöht das Programm 420 das Pulsweitenmodulationsverhältnis, indem es ein entsprechendes Steuersignal an die Pulsweitenmodulationsschaltung 422 ausgibt. Der aufgrund der Erhöhung des Pulsweitenmodulationsverhältnisses resultierende Strom wird wiederum durch das Modul 424 qualitativ in dem Schritt 506 gemessen.

20

In dem Schritt 508 wird durch das Programm 420 geprüft, ob der Strom im Vergleich zu der vorhergehenden Strommessung angestiegen ist. Wenn dies der Fall ist, geht der Programmablauf des Programms 420 zu dem Schritt 504 zurück, um das Pulsweitenmodulationsverhältnis erneut zu inkrementieren.

25

Ist das Gegenteil der Fall, bedeutet dies, dass der Scheitelpunkt des Stromverlaufs bei dem aktuellen Pulsweitenmodulationsverhältnis erreicht worden ist und in dem Schritt 510 wird auf dieser Basis aus dem Kennlinienfeld 418 oder durch Berechnung durch das Steuergerät 410 der Druck ermittelt.

30

Das Diagramm der Figur 6 zeigt den entsprechenden Stromverlauf in Relation zu den Pulsweitenmodulations(PWM)-Verhältnissen. Beginnend vom Startzeit-

punkt  $t_0$  der Messesequenz wird dabei das PWM-Verhältnis in den Schritten 1, 2, 3 und 4 erhöht, wobei der Strom  $I$  qualitativ gemessen wird. Zu dem Zeitpunkt  $t_1$  wird festgestellt, dass der Strom  $I$  seinen Scheitelwert  $I_{\text{Schalt}}$  erreicht hat. Das PWM-Verhältnis zu diesem Zeitpunkt  $t_1$  ist dabei über die an der Spule des Magnetventils 406 anliegende Spannung  $U'$  und den aufgrund des Spulenwiderstands fließenden Strom  $I_{\text{Schalt}}$  mit dem Druck korreliert. Über ein entsprechendes Kennlinienfeld kann daher bei konstanter Spannung  $U$  allein aus dem PWM-Verhältnis der Druck ermittelt werden.

Wenn die Spannung  $U$  nicht konstant ist, wie das etwa bei der Bordspannung von Kraftfahrzeugen der Fall sein kann, ist eine Berechnung des Spulenstroms  $I_{\text{Schalt}}$  aus dem PWM-Verhältnis am Scheitelpunkt  $S$  erforderlich. Diese Berechnung erfolgt nach dem Ohmschen Gesetz aus dem Spulenwiderstand. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann dabei die Temperaturabhängigkeit des Spulenwiderstands mit berücksichtigt werden. Ein Ausführungsbeispiel für eine entsprechende Vorgehensweise wird im Weiteren mit Bezugnahme auf die Figuren 7 bis 11 näher erläutert.

Die Figur 7 zeigt ein Flussdiagramm zur Druckbestimmung unter Berücksichtigung einer Kalibrierung des Magnetventils und der Spulentemperatur. In dem Schritt 700 erfolgt eine Kalibrierung des Magnetventils (vgl. Magnetventil 106 der Figur 1 und Magnetventil 406 der Figur 4). Bei der Kalibrierung herrscht ein Nordruck  $p_{\text{norm}}$  von z. B. 10 bar in der Gasfeder (vgl. Gasfeder 102 der Figur 1 und Gasfeder 402 der Figur 4), und zwar bei einer Normtemperatur von z. B.  $T=20^\circ$  und einer Normspannung  $U_{\text{norm}}$  von z. B. 6 Volt.

Zur Kalibrierung des Magnetventils wird das PWM-Verhältnis  $\text{PWM}_{\text{norm}}$  ermittelt, bei welchem der Schaltstrom  $I_{\text{Schalt}}$  fließt. Dieser Wert  $\text{PWM}_{\text{norm}}$  geht in die Druckbestimmung in dem Schritt 702 ein. Der Wert  $\text{PWM}_{\text{norm}}$  wird beispielsweise nur einmal nach der Produktion des Kraftfahrzeugs am Bandende ermittelt und dann in dem Steuergerät gespeichert.

Zur Druckbestimmung in dem Schritt 702 ist es zunächst erforderlich, dass das PWM-Verhältnis  $PWM_{mess}$  an dem Scheitelpunkt S der Stromkurve ermittelt wird. Dieser Wert  $PWM_{mess}$  sowie die Bordspannung  $U_{bord}$  werden in dem Schritt 704 in den Wert  $PWM_{aktuell}$  umgerechnet, welcher für die Druckbestimmung in dem Schritt 702 verwendet wird.

In dem Schritt 706 wird ein Spulentemperaturfaktor  $RF$  aus einem Normwiderstand  $R_{norm}$  und einem Prüfstrom  $I_{prüf}$  ermittelt. Der Spulentemperaturfaktor  $RF$  wird ebenfalls bei der Druckbestimmung in dem Schritt 702 zur Ermittlung des Drucks  $p_{aktuell}$  berücksichtigt:

Die Figur 8 zeigt die Vorgehensweise zur Bestimmung von  $PWM_{norm}$  in dem Schritt 700. In dem Schritt 800 wird der Normdruck  $p_{norm}$  am Bandende extern eingestellt. Ferner wird die Normspannung  $U_{norm}$  angelegt. In dem Schritt 802 wird das PWM-Verhältnis  $PWM_{norm}$  am Scheitelpunkt S des Stromverlaufs bei diesen Normbedingungen ermittelt, wobei der Wert  $PWM_{norm}$  eine Funktion von  $p_{norm}$  sowie der geometrischen und Materialtoleranzen ist.

Die Figur 9 verdeutlicht die Vorgehensweise in dem Schritt 706 zur Ermittlung des Spulentemperaturfaktors  $RF$ . In dem Schritt 900 wird durch entsprechende Einstellung des Pulsweitenmodulationsverhältnisses ein bestimmter Strom  $I_{prüf}$  in der Spule des Magnetventils erzeugt. Aus der Bordspannung  $U_{bord}$  ergibt sich aus diesem PWM-Verhältnis die Spannung  $U_{prüf}$ , die an der Spule anliegt. In dem Schritt 902 wird hieraus nach dem Ohmschen Gesetz der Spulenwiderstand  $R_{prüf}$  berechnet.

In dem Schritt 904 wird der Widerstand  $R_{prüf}$  auf einen Normwiderstand  $R_{norm}$  bezogen, woraus sich der Spulentemperaturfaktor  $RF$  ergibt. Der Normwiderstand  $R_{norm}$  wird in dem Schritt 906 vorzugsweise bei der Kalibrierung in dem Schritt 700 ermittelt und in dem Steuergerät gespeichert.

Die Figur 10 zeigt die Vorgehensweise zur Ermittlung von PWM\_aktuell in dem Schritt 704. In dem Schritt 1000 werden hierzu die Bordspannung  $U_{\text{bord}}$  sowie das PWM-Verhältnis PWM\_mess am Scheitelpunkt S eingegeben. Hieraus wird in dem Schritt 1002 der Wert PWM\_aktuell berechnet, indem PWM\_mess mit dem Verhältnis aus  $U_{\text{bord}}$  und  $U_{\text{norm}}$  multipliziert wird.

Figur 11 zeigt die Vorgehensweise zur Druckbestimmung in dem Schritt 702. Hierzu werden in dem Schritt 1100 der Spulentemperaturfaktor RF und der Wert PWM\_aktuell eingegeben. In dem Schritt 1102 wird hieraus das PWM-Verhältnis bei Normtemperatur, d. h. in diesem Beispiel  $T = 20^\circ$ , PWM\_20 durch Division von PWM\_aktuell durch RF berechnet.

In dem Schritt 1104 wird aus dem Wert PWM\_20 der Druck  $p_{\text{ist}}$  berechnet. Hierzu werden in dem Schritt 1106 der Normdruck  $p_{\text{norm}}$  und der durch Kalibrierung ermittelte Wert PWM\_norm eingegeben. Die Berechnung erfolgt durch Division von PWM\_20 durch PWM\_norm und Multiplikation mit  $P_{\text{norm}}$ .

## Bezugszeichenliste

5

100 Vorrichtung  
102 Gasfeder  
104 Arbeitsleitung  
106 Magnetventil  
108 Feder  
110 Steuergerät  
112 Schalter  
114 Strommessgerät  
116 Ventilhennweite

15

118 Speicher  
120 Programm  
400 Vorrichtung  
402 Gasfeder  
404 Arbeitsleitung

20

406 Magnetventil  
408 Feder  
410 Steuergerät  
416 Ventilhennweite  
418 Speicher

25

420 Programm  
422 Pulsweitenmodulationsschaltung  
424 Modul

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Messung eines Drucks in einem Bereich, der mit einem Magnetventil abgeschlossen ist, mit folgenden Schritten:
- Anlegen einer Spannung an das Magnetventil,
  - 10 - Ermittlung eines Scheitelpunkts des aufgrund der Spannung fließenden Stroms,
  - Ermittlung des Drucks basierend auf der Ermittlung des Scheitelpunkts.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Scheitelwert des Stroms an dem Scheitelpunkt gemessen wird, und der Druck basierend auf dem Scheitelwert ermittelt wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Ermittlung des Drucks über ein Kennlinienfeld erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Ermittlung des Drucks durch Berechnung erfolgt.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, wobei die Spannung durch schrittweise Erhöhung eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses schrittweise erhöht wird, und die Ermittlung des Drucks basierend auf dem Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt erfolgt.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei aus dem Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt und einem Spulenwiderstand des Magnetventils

der Scheitelwert des Stroms ermittelt wird, und die Ermittlung des Drucks basierend auf dem Scheitelwert erfolgt.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, wobei zur Ermittlung des Drucks basierend auf dem Scheitelwert des Stroms eine Temperaturabhängigkeit des Spulenwiderstands des Magnetventils berücksichtigt wird.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 5, 6 oder 7, wobei das Pulsweitenmodulationsverhältnis an dem Scheitelpunkt auf eine Normspannung bezogen wird.
- 15 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei mittels der Normspannung eine Kalibrierung des Magnetventils erfolgt.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9, wobei es sich bei dem Bereich um ein Arbeitsvolumen einer Gasfeder, insbesondere einer Luftfeder, handelt.
- 25 11. Computerprogramm zur Berechnung eines Drucks in einem Bereich, der mit einem Magnetventil abgeschlossen ist, mit Programmmitteln zur Durchführung der folgenden Schritte:
  - Ermittlung eines Scheitelpunkts des aufgrund einer an das Magnetventil angelegten Spannung fließenden Stroms,
  - Ermittlung des Drucks basierend auf der Ermittlung des Scheitelpunkts.
- 30 12. Computerprogramm nach Anspruch 11, wobei die Ermittlung des Drucks basierend auf dem Scheitelwert des Stroms an dem Scheitelpunkt erfolgt.

13. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 11 oder 12, mit einer Kennlinie zur Ermittlung des Drucks basierend auf dem Scheitelwert des Stroms an dem Scheitelpunkt.
- 5 14. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 11, 12 oder 13, wobei die Programmmittel zur Berechnung des Drucks basierend auf den Scheitelpunkt ausgebildet sind.
- 10 15. Computerprogrammprodukt nach einem der vorhergehenden Ansprüche 11 bis 14, wobei die Programmmittel zur schrittweisen Erhöhung der Spannung durch schrittweise Erhöhung eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses ausgebildet sind, und zur Ermittlung des Drucks basierend auf dem Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt.
- 15 16. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 15, wobei die Programmmittel zur Berechnung des Scheitelwerts des Stroms aus dem Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt und aus dem Spulenwiderstand des Magnetventils ausgebildet sind.
- 20 17. Vorrichtung zur Bestimmung eines Drucks in einem Bereich, der mit einem Magnetventil (106; 406) abgeschlossen ist, mit einem Steuergerät (110; 410) zum Anlegen einer Spannung an das Magnetventil, wobei das Steuergerät zur Ermittlung eines Scheitelpunkts (S) des aufgrund der Spannung fließenden Stroms (I) und zur Ermittlung des Drucks basierend auf  
25 den Scheitelpunkt ausgebildet ist.
- 30 18. Vorrichtung nach Anspruch 17, mit Mitteln (114; 420, 424) zur Ermittlung des Scheitelwerts ( $I_{\text{Schalt}}$ ) des Stroms an dem Scheitelpunkt (S), wobei das Steuergerät zur Ermittlung des Drucks basierend auf dem Scheitelwert ausgebildet ist.



19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, wobei das Steuergerät zur schrittweisen Erhöhung eines Pulsweitenmodulationsverhältnisses der an das Magnetventil angelegten Spannung und zur Ermittlung des Drucks basierend auf dem Pulsweitenmodulationsverhältnis am Scheitelpunkt ausgebildet ist.

100 ~

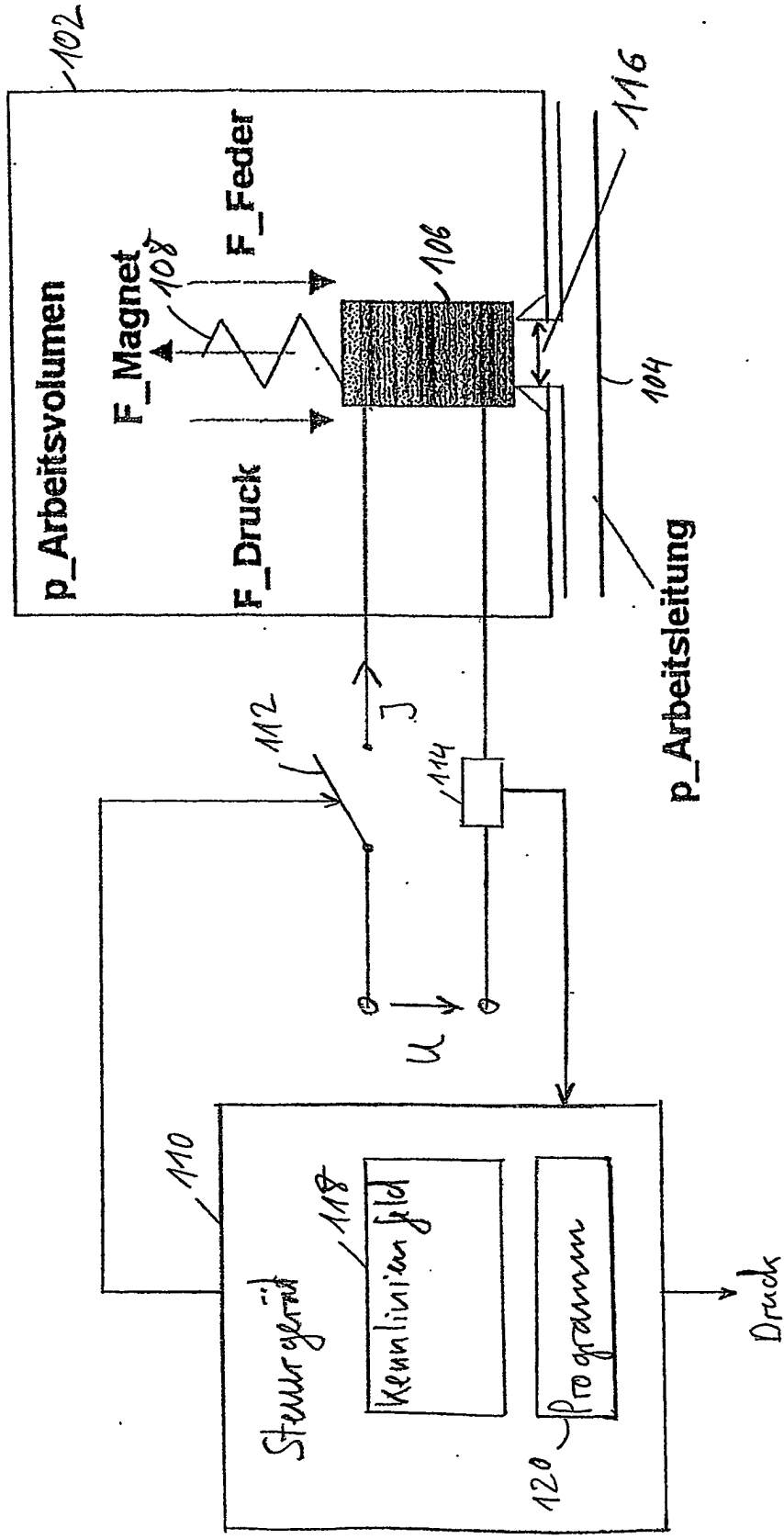


Fig. 1

## Schaltstromcharakteristik

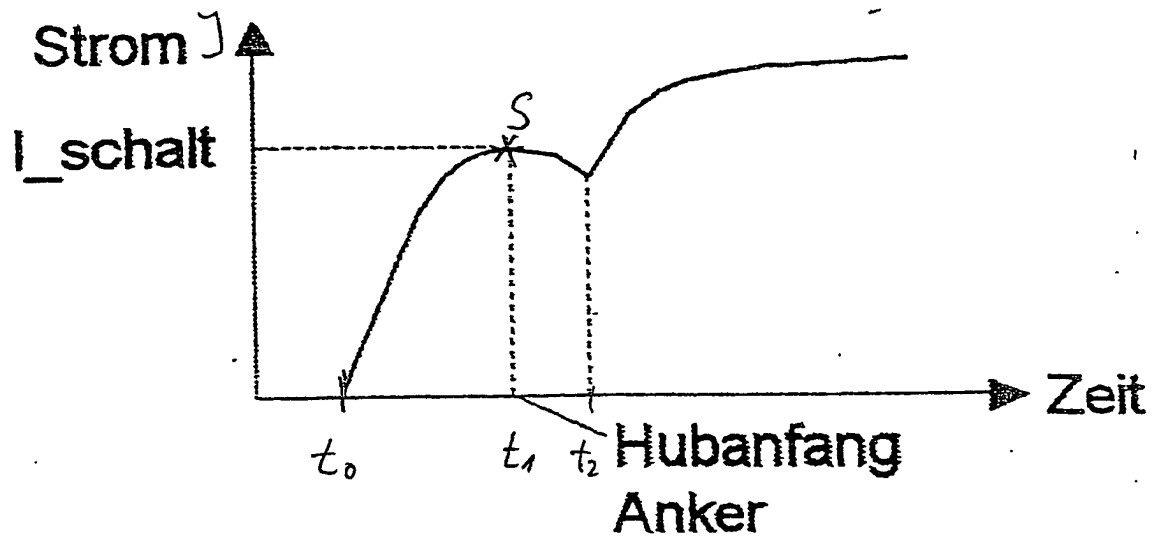


Fig. 2

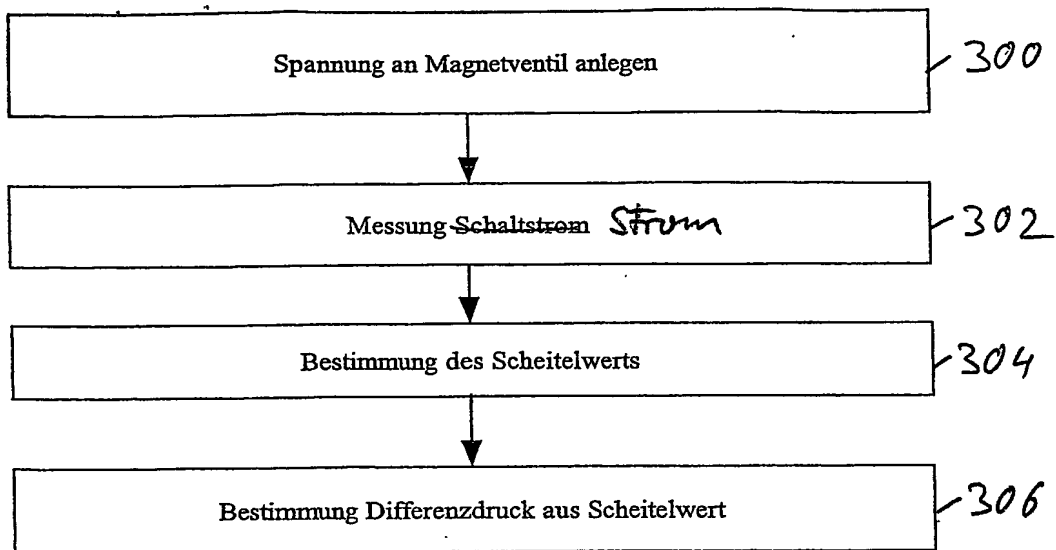


Fig. 3

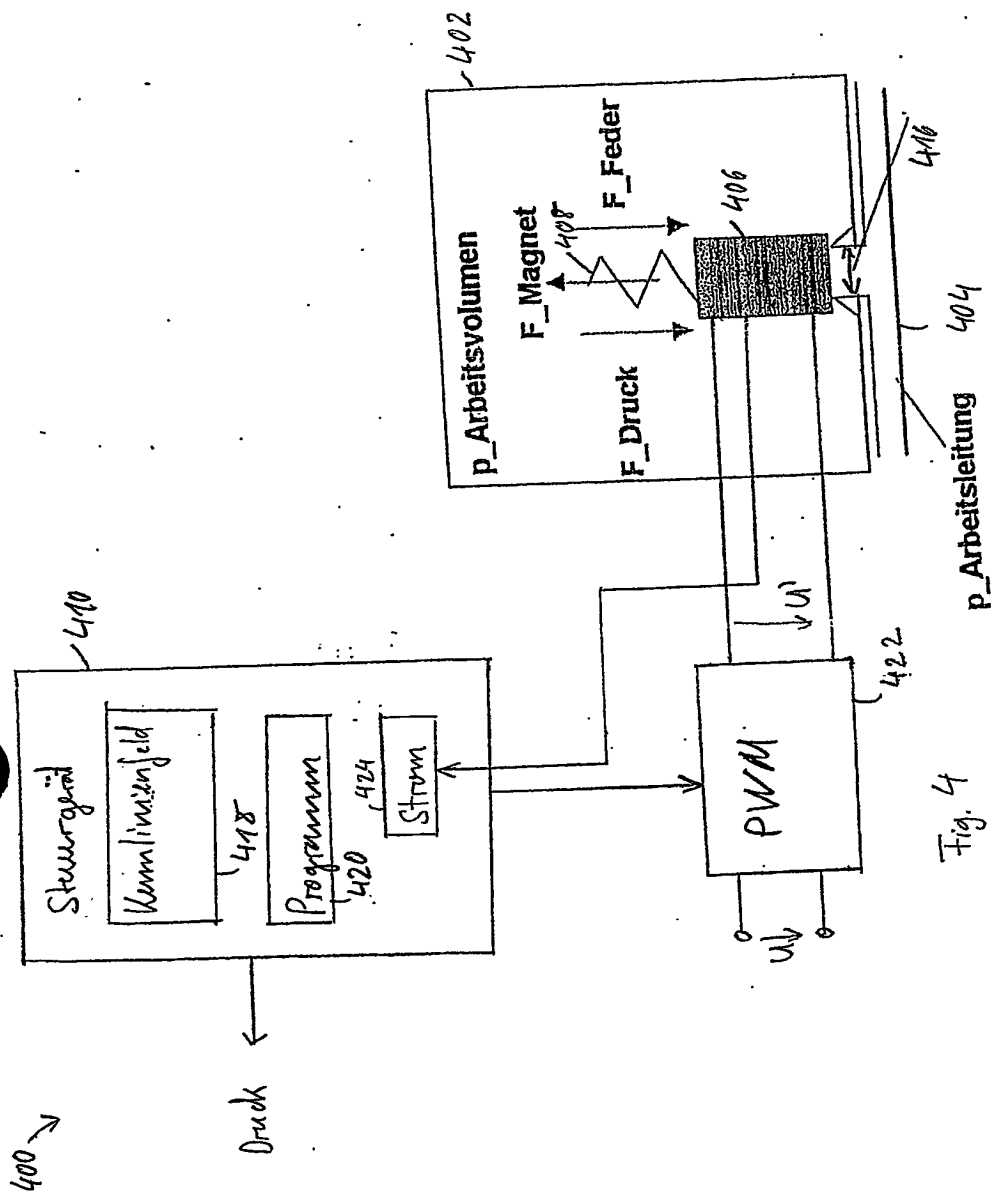


Fig. 4

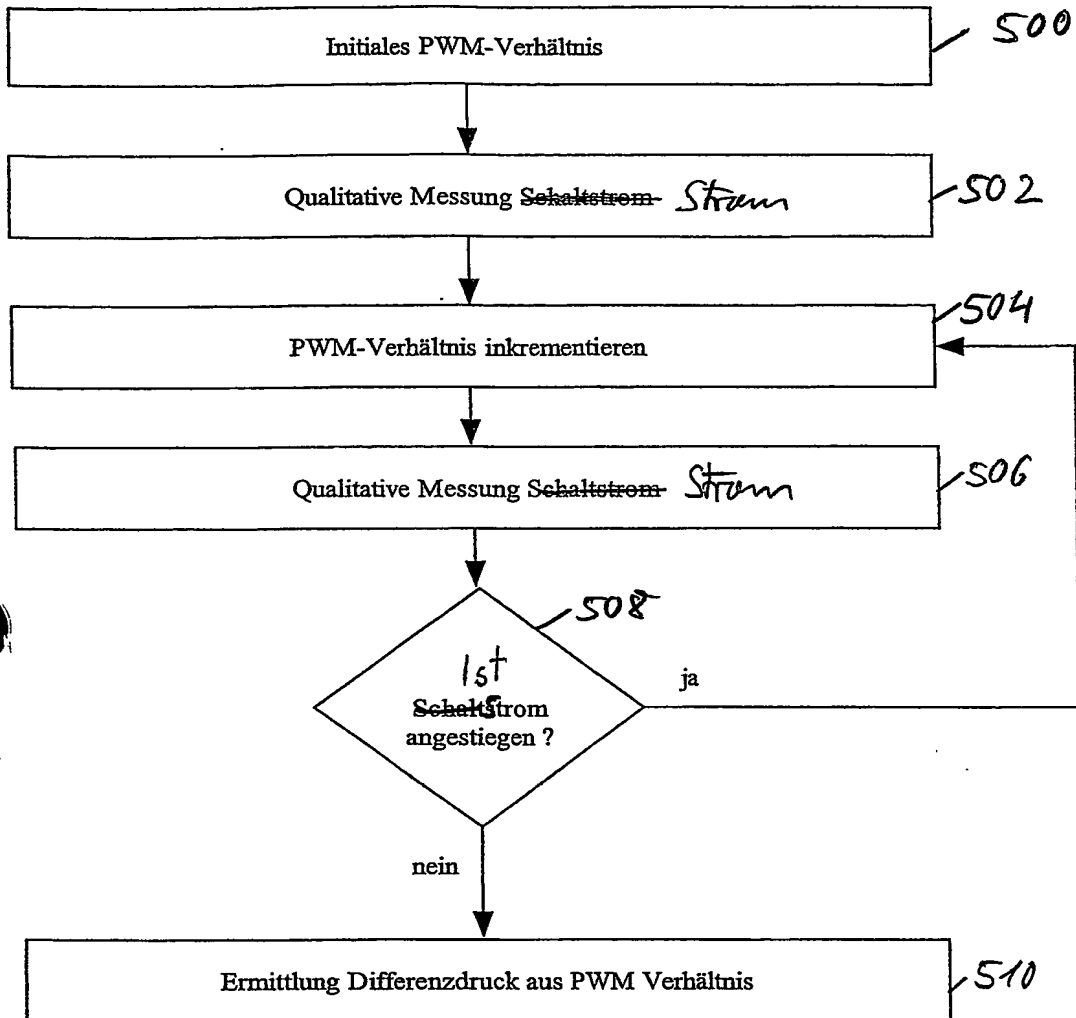


Fig. 5

PWM-Verhältnis

Strom

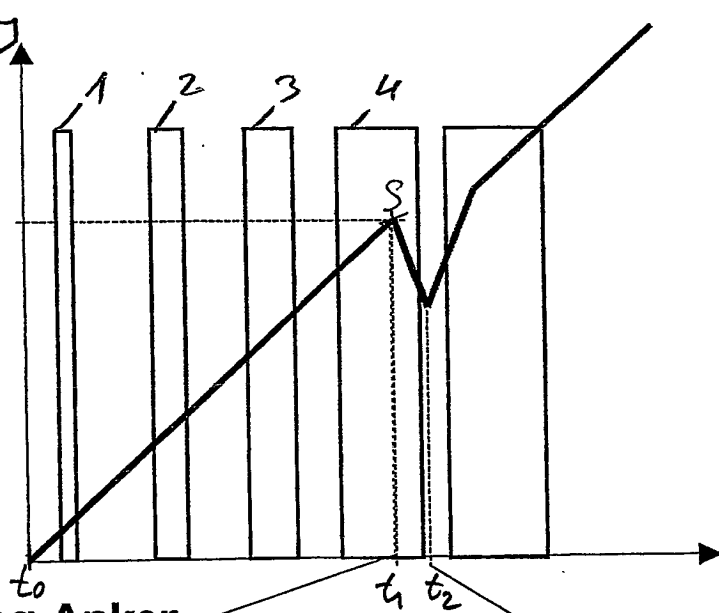
$I_{\text{Schalt}}$

Hubanfang Anker

Hubende Anker

Zeit  $t$

Fig. 6



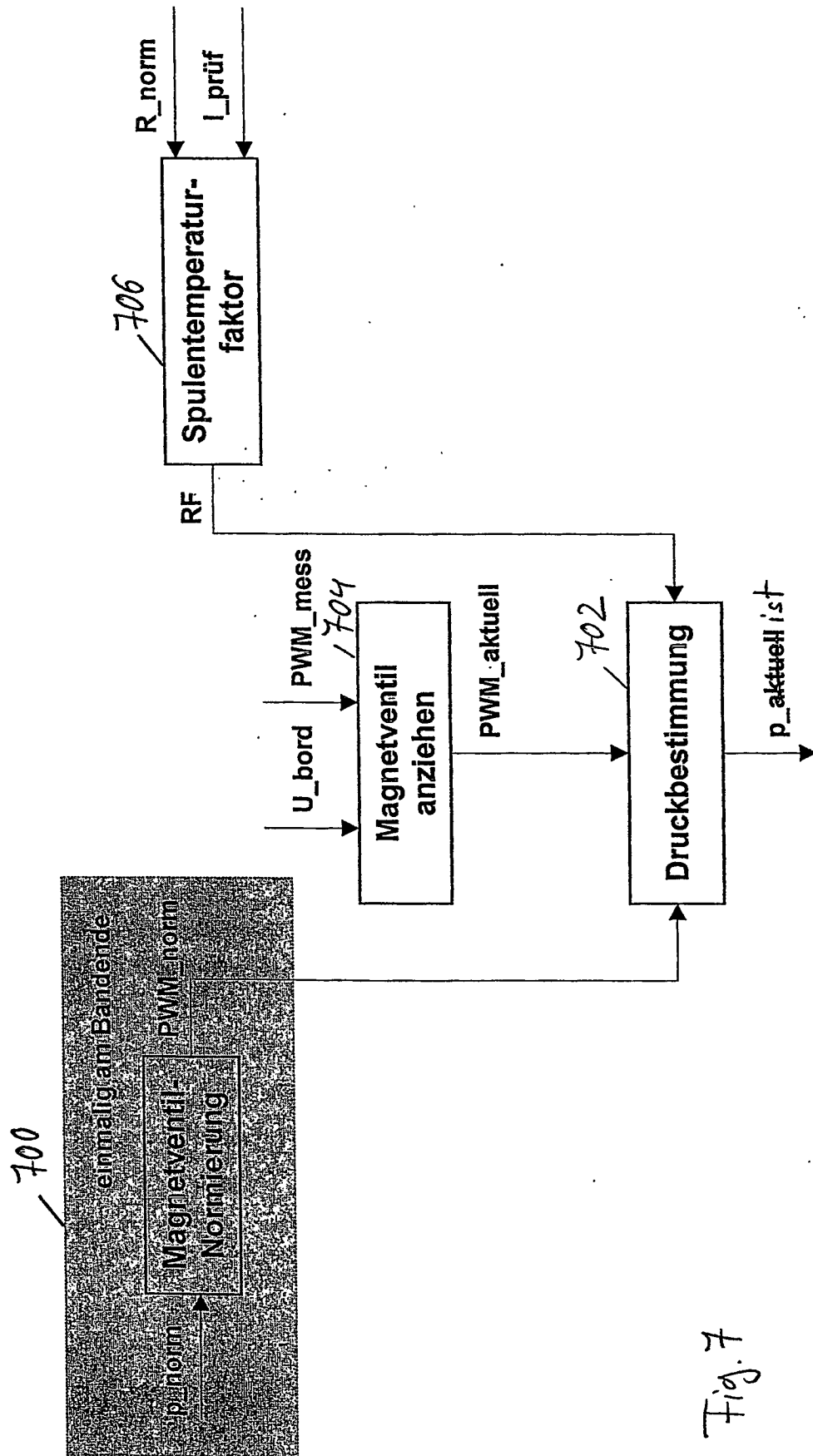


Fig. 7



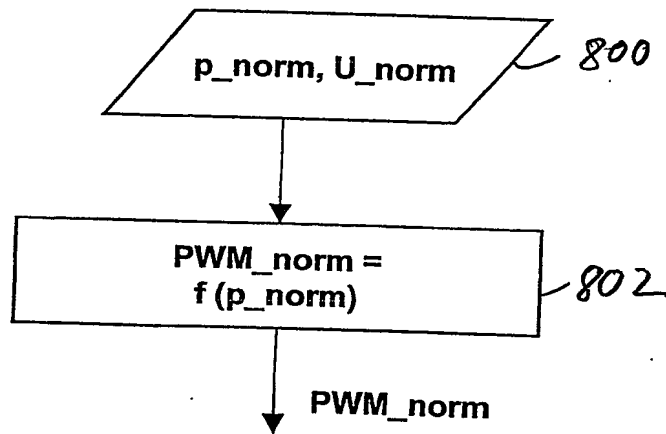


Fig. 8

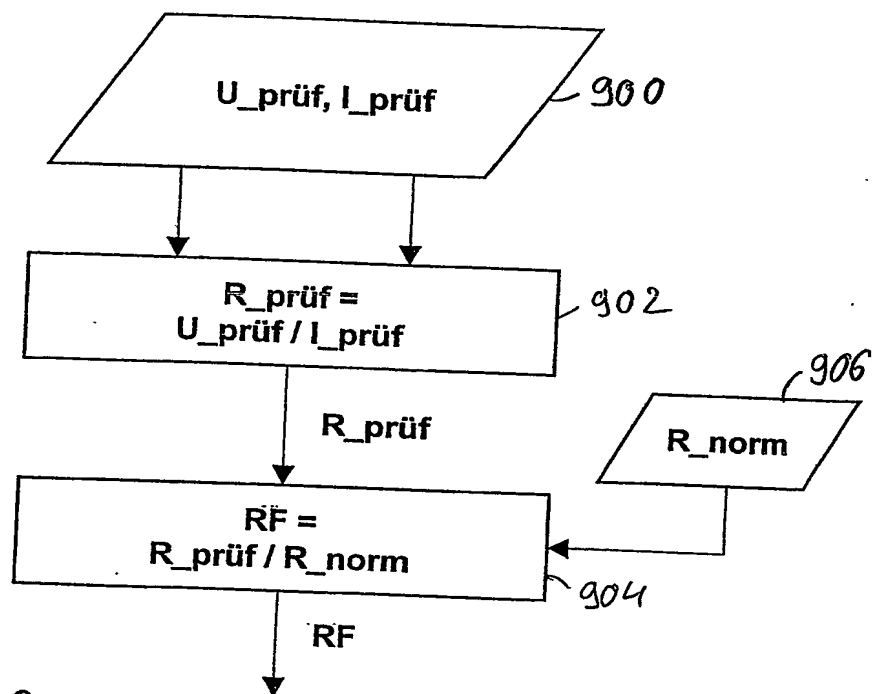


Fig. 9

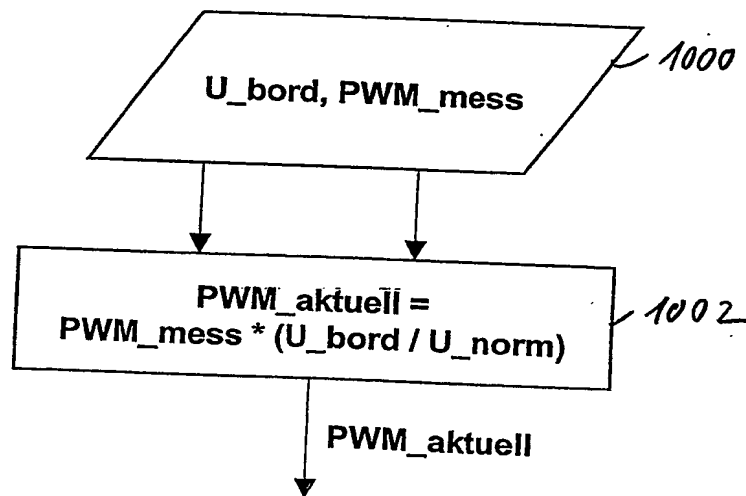


Fig. 10

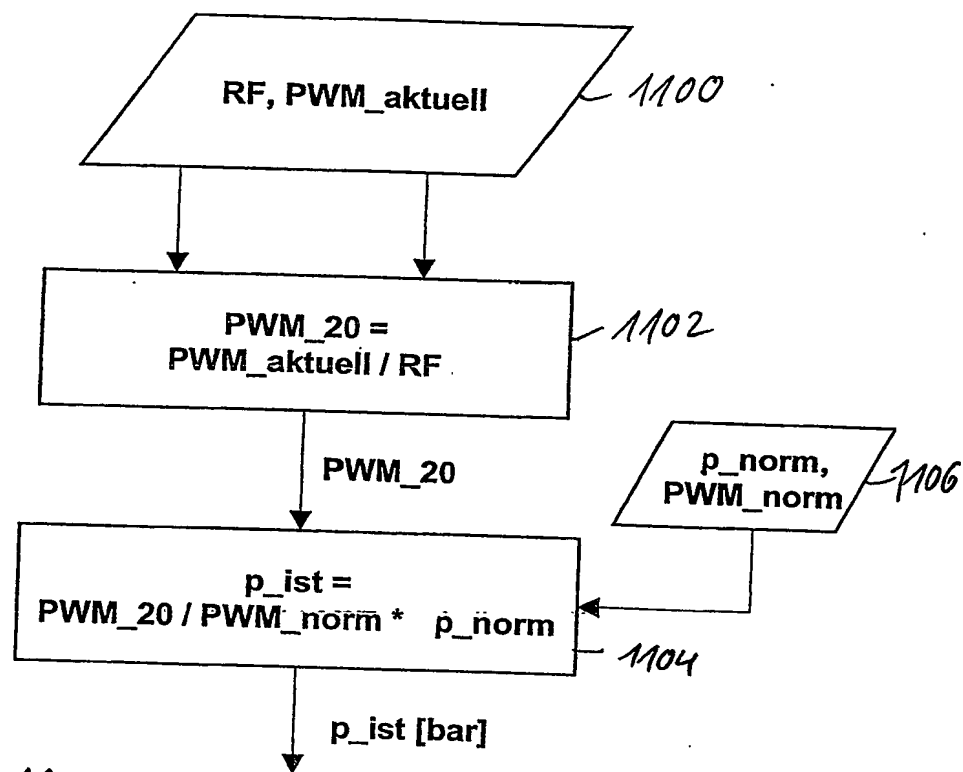


Fig. 11

Zusammenfassung

## Verfahren zur Messung eines Drucks

-----

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung eines Drucks in einem Bereich, der mit einem Magnetventil abgeschlossen ist, mit folgenden Schritten:

- Anlegen einer Spannung an das Magnetventil,
- Ermittlung eines Scheitelpunkts des aufgrund der Spannung fließenden Stroms,
- Ermittlung des Drucks basierend auf der Ermittlung des Scheitelpunkts.

15

(Figur 1)

100 ~

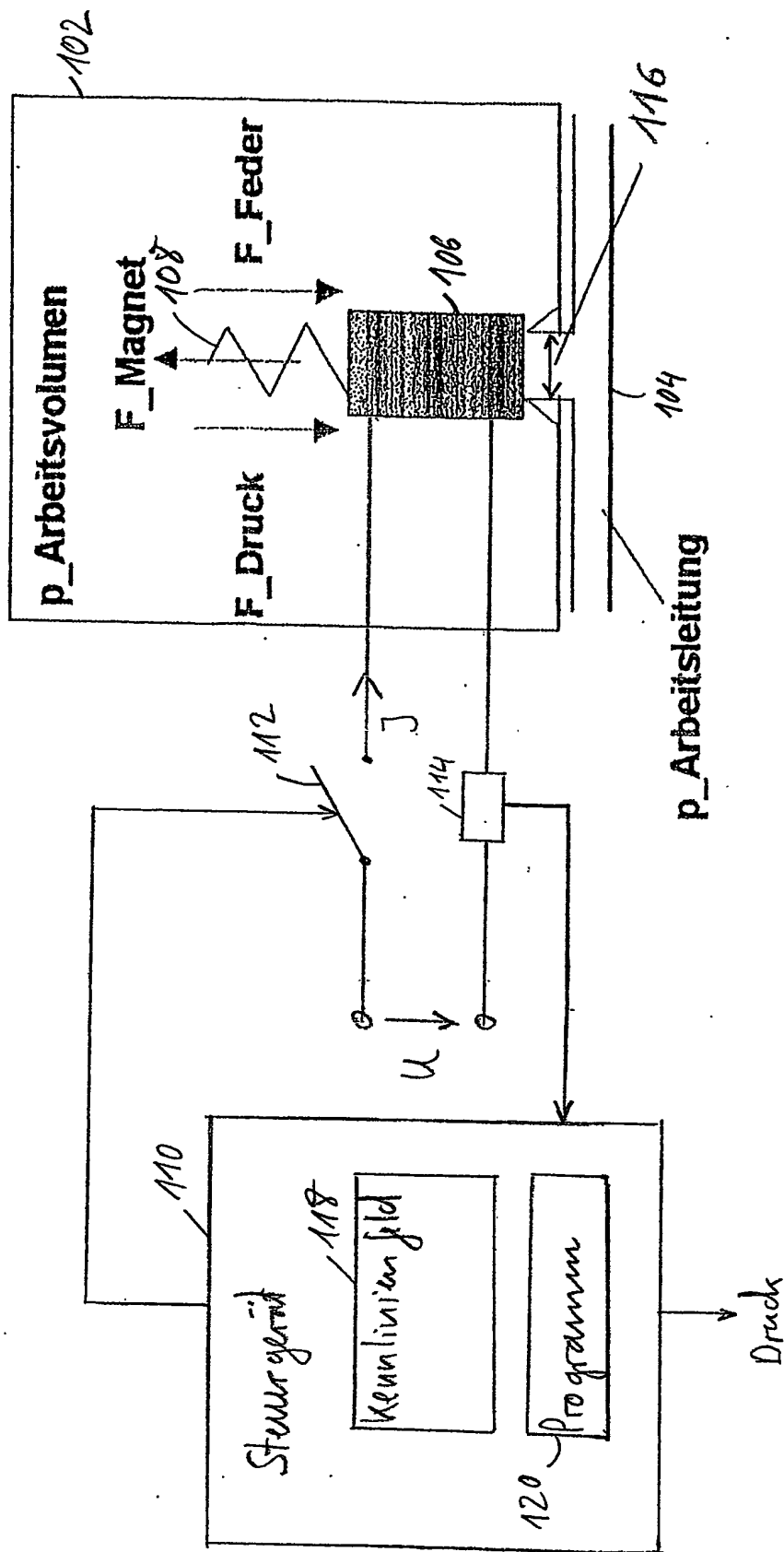


Fig. 1